

Metodi di raccolta-dati geostrukturali finalizzati alla progettazione

CARRIERI G., EUSEBIO A., RABBI E., RUSSO G., Geodata s.r.l. - Italia

1 INTRODUZIONE

Una conoscenza piu' completa delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche degli ammassi rocciosi e' richiesta, con crescente necessita', per una corretta progettazione ingegneristica.

Sebbene esista sull'argomento una conoscenza di base ormai diffusa risulta tuttavia sempre complesso procedere ad un'analisi quantitativa poiche', sia per i procedimenti che rappresentano le basi della trattazione, sia per la natura stessa dell'ammasso roccioso, la raccolta dati risulta spesso lacunosa o sovrabbondante.

Da qui l'importanza, pur riferendosi ai classici della Meccanica delle rocce (Deer et al 1966, Barton 1973, CANMET 1977, Hoek-Bray 1981, Bieniawski 1984) ed ai piu' recenti lavori di Barla et al 1986, Lunardi 1986, Rossi 1986, Broili 1988 e Clerici et al 1988, mettere a punto un modello che soddisfi la necessita' di raccogliere il massimo dei dati, tramite schede adatte al caso considerato, che consentano di ottimizzare il lavoro svolto.

Nel seguito quindi si presentano alcune applicazioni delle specifiche metodologie di rilievo elaborate dagli scriventi con relative schede raccolta dati.

2 RILEVAMENTO DI UNA GALLERIA-CANALE PARZIALMENTE RIVESTITA

Nel contesto delle inevitabili interferenze tra le opere esistenti e la costruenda autostrada Bardonecchia-Rivoli (tratto alta

val Susa) si e' svolta una serie di studi ed indagini geologico-applicative e di ingegneria del territorio nei vari siti ove si verificano tali interdipendenze.

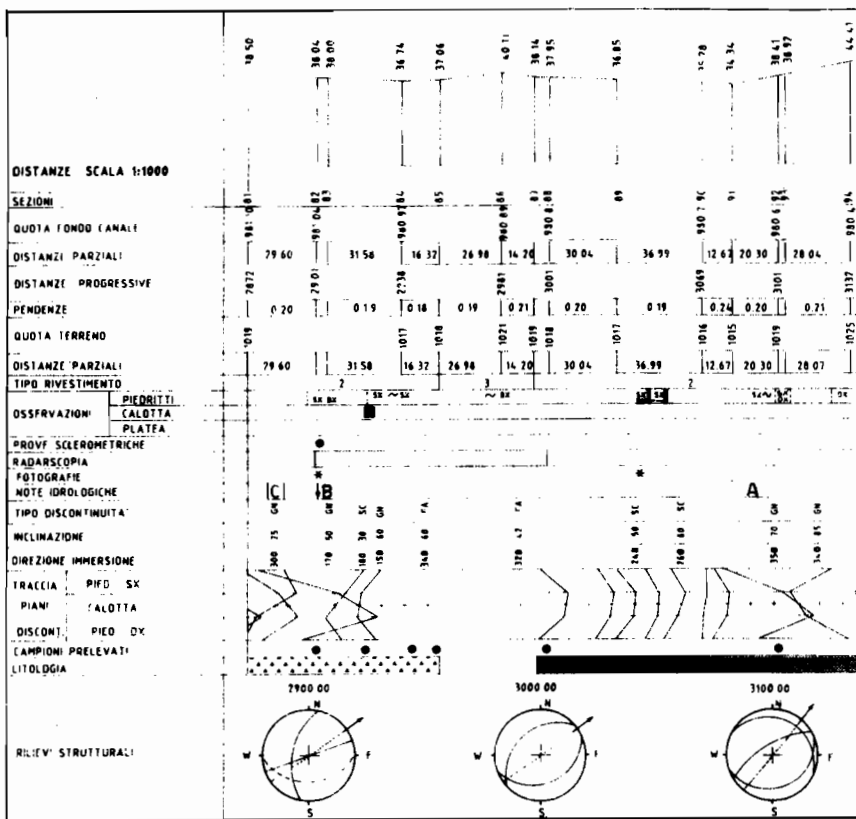
Il caso descritto concerne le indagini eseguite all'interno della galleria canale dell' Azienda Energetica Municipale di Torino, opera che corre in affiancamento all'autostrada per il tratto compreso fra Deveys e Chiomonte.

Tale canale che si sviluppa, nella parte indagata, per circa 8km in sotterraneo con sezione 4-5m², fu realizzato tra il 1904 ed il 1910 per trasferire le acque della Dora Riparia dalla piana di Salbertrand fino al bacino di raccolta di Ramat e di qui alla centrale idroelettrica di Chiomonte.

Il complesso geologico interessato dalla galleria-canale fa parte del Massiccio cristallino d'Ambin, e principalmente della Serie omonima qui rappresentata da gneiss, micascisti e quarziti, con termini intermedi, lenti di metabasiti e da terreni quaternari (detrito di falda e lembi di copertura morenica).

Per l'attraversamento di una cosi' complessa situazione geologica furono adottate quattro tipologie di rivestimento completo, o piu' sovente, parziale con calotta non rivestita.

In questo contesto, approfittando di una settimana di fermo per manutenzione dell'impianto, e' stata eseguita, all'interno della galleria-canale, una massiccia campagna di rilievi per verificarne lo stato generale e rilevare, con continuita', la situazione geostrukturale e



OSSERVAZIONI

- ZONE CON EVIDENTI FUORI-SAGOMA, SPLACCAGGI, SFORNELLAMENTI
- ◆ CONCREZIONI
- ~ TRATTI CON RIVESTIMENTO DETERIORATO
- CAVILLATURE E FESSURAZIONI DEL RIVESTIMENTO
- LESIONI DEL RIVESTIMENTO
- + SEZIONI DI DEPLUSSO RIDOTTE
- dx dx PIEDRITTO DI SINISTRA O DI DESTRA

NOTE IDROLOGICHE

TRATTI DI GALLERIA INTERESSATI DA VENUTE PIÙ O MENO DIFFUSE

- ↓ VENUTE PUNTUALI
- A ASCIUTTO, POCO UMIDO
- B MOLTO UMIDO
- C BAGNATO, STILICIZIO

LITOLOGIA

- MICASCISTI E GNEISS MINUTI
- METABASITI (PRASINITI, AMFIBOLITI)

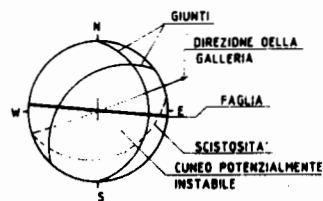


FIG. 1- SCHEDA TIPO UTILIZZATA NELLA GALLERIA CANALE

litologica.

In questo modo si è potuto utilizzare il canale allo stesso modo di un sondaggio esplorativo a vantaggio di una caratterizzazione diretta e continua dell'ammasso roccioso attraversato, a poca distanza, dalla costruenda autostrada, valutandone nel contempo le condizioni statiche strutturali ad ottant'anni dalla realizzazione.

Per il rilievo nel canale è stata quindi messa a punto un'apposita scheda di rapida

compilazione, stante il ridotto tempo a disposizione, tale da consentire una raccolta dati ottimale per una successiva elaborazione statistica.

Lungo gli otto chilometri di galleria-canale è stato quindi eseguito: un rilevamento litologico con raccolta (ogni 50-100m) di campioni rocciosi significativi, riconoscimento delle principali discontinuità e loro caratterizzazione (orientamento, spaziatatura e condizione), descrizione delle caratteristiche



FIG.2- GALLERIA-CANALE AEM INTERNO DEL CANALE IN CORRISPONDENZA ALLA PROGR.7762

meccaniche delle superfici (Joint Roughtness Coefficient e Joint Compressive Streight - Barton, 1973 Tse-Crudon 1979), prove sclerometriche con martello di Schmidt (Deer et al 1966, Antinot 1973, Haramy-DeMarco 1985) e rilievi geostrutturali di dettaglio ogni 100m circa.

Sono state inoltre rilevate le venute d'acqua, le caratteristiche strutturali e lo stato di conservazione del rivestimento.

L'insieme dei dati raccolti e' stato sintetizzato in apposite tavole (fig. 1) che oltre ai dati suddetti, riportano il tipo di rivestimento, le tracce dei piani di discontinuita' in relazione all'asse del canale ed i relativi stereogrammi.

In ultimo, a sintesi dello studio svolto, si e' applicata la classificazione geomeccanica di Bieniawski (1984), calcolando il RMR (Rock Mass Rating) e' stato possibile suddividere il canale in tratte omogenee (100m circa) valutando le condizioni di stabilita' della galleria ed evidenziando le singole zone ove era possibile e/o probabile il distacco di porzioni rocciose (fig.2).

3 RILEVAMENTO E CONTROLLI IN CORSO D'OPERA DI UNA GALLERIA

In fase di scavo di opere in sotterraneo rivestono giustamente sempre piu' importanza continui controlli geostrutturali dell'ammasso roccioso e un accurato monitoraggio delle deformazioni in atto.

Il metodo di rilevamento dei fronti di scavo, proposto nel caso specifico, vuole essere un esempio di quanto applicato, gia' da alcuni anni, dagli scriventi nei corsi d'opera in galleria.

In tali circostanze assume rilevanza ancor maggiore una raccolta dati opportunamente organizzata, che consenta una rapida verifica dell'ipotesi progettuale e possa indicare, sulla scorta delle misurazioni comportamentali del cavo, eventuali accorgimenti tecnici correttivi e, in ultimo, modifiche sul dimensionamento dei sostegni.

La scheda riportata in fig.3 e' pertanto finalizzata ad una tempestiva valutazione della classe tecnica della massa rocciosa scavata, utilizzando la Classificazione Geomeccanica di Bieniawski (1984), con riferimenti a quella di Barton (1973) e, nel caso di formazioni complesse, dal punto di vista geotecnico, al "General Report" (A.G.I. 1985).

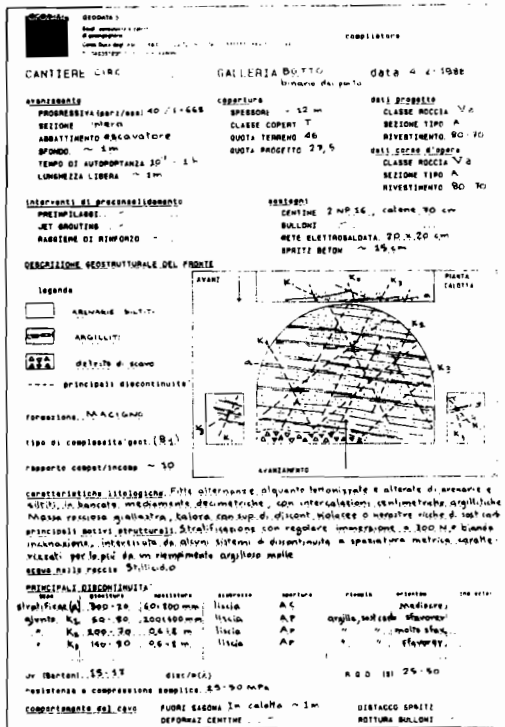


FIG.3- SCHEDA TIPO UTILIZZATA NEI RILIEVI AL FRONTE DELLA GALLERIA IN CORSO D'OPERA-

Nella scheda, accanto alle indicazioni prettamente geostrutturali, vengono raccolti dati che consentono un adeguato inquadramento geomeccanico della massa rocciosa (caratteristiche di resistenza, presenza di acqua ecc.). La parte tecnica include informazioni quali gli eventuali interventi di preconsolidamento, il tipo di scavo e sostegno adottato, il comportamento del cavo, il confronto tra i dati di progetto e il corso d'opera.

Nel caso portato ad esempio viene preso in considerazione il corso d'opera della galleria naturale Botto, facente parte dei lavori di potenziamento dell'itinerario Ferroviario Pontremolese tra La Spezia e Parma. Si tratta di una galleria a semplice binario, articolata su due fornici (terzo binario e binario Porto) rispettivamente di 50 e 150m, in condizioni di parietalita' e di scarsa copertura; dal punto di vista geologico il tracciato si sviluppa nella Formazione oligocenica del Macigno, qui rappresentata da alternanze

decimetriche arenaceo-siltose spesso degradate, intercalate in subordine da livelli marnosi e argillitici.

Il rilievo si riferisce alla progressiva parziale di scavo 40, del fornice di collegamento con il porto di La Spezia.

La massa rocciosa descritta, alternanze decimetriche tettonizzate, molto alterate, in prevalenza arenacee, risulta interessata dai sistemi di discontinuita' A (stratificazione) e K1, K2 e K3 (giunti), la cui traccia sulla superficie del fronte, dei piedritti e della calotta e' riportata nello schizzo in figura.

Per la stima dello RQD (Rock Quality Designation Deer et al, 1966), si e' ricorso alla relazione gia' evidenziata con la spaziatura delle discontinuita' (o frequenza media cfr. fig.4), (CANMET 1977), confrontata con altre correlazioni empiriche (Barton 1973).

Inoltre e' stata stimata la resistenza a compressione semplice prelevando campioni di roccia ed eseguendo prove di resistenza puntuali (Point Load Test) (ISMR 1972, Brook 1985).

Sulle superfici di discontinuita' sono state condotte prove sclerometriche, in base alle quali si e' determinato l'indice JCS.

L'applicazione sistematica di tale metodologia ha consentito, accanto ad una continua verifica delle scelte progettuali, una dettagliata ricostruzione dell'assetto strutturale e litostratigrafico dell'ammasso roccioso.

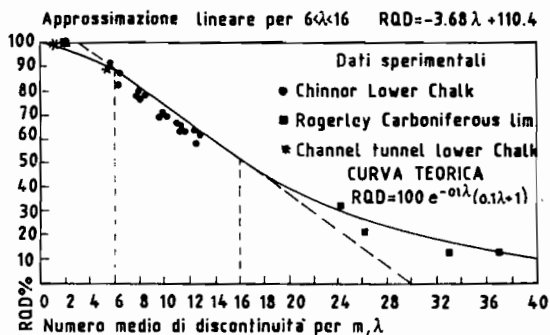


FIG.4- CORRELAZIONE TRA IL NUMERO MEDIO DI DISCONTINUITA' A METRO ED IL VALORE DI RQD- (CANMET 1977)

4 RACCOLTA DATI SU UNA PARETE ROCCIOSA

Il lavoro di raccolta dati in esterno consente generalmente, grazie alla possibilità di osservare globalmente e talora su più fronti l'ammasso roccioso, una più completa caratterizzazione strutturale e geomeccanica.

Nell'esempio illustrato vengono descritte le metodologie di lavoro applicate nello studio della parete rocciosa sovrastante l'abitato di Carema da cui hanno avuto origine diversi fenomeni gravitativi, l'ultimo dei quali nell'aprile 1986, ha portato al distacco ed al crollo di un ingente volume di roccia, arrivando a minacciare la sicurezza del paese stesso.

Il settore di versante interessato dal movimento franoso, dalla nicchia di distacco (1050m slm), alla zona di accumulo, fino alla zona di arresto dei massi scesi più a valle (zona di massimo

espandimento) a 450m slm circa, è stato dettagliatamente indagato con rilievi geologici-morfologici e strutturali.

Il rilevamento geologico ha permesso di riconoscere litotipi appartenenti al complesso metamorfico Sesia-Lanzo (gneiss minuti e micascisti eclogitici con locali lenti di marmi).

Per acquisire una buona conoscenza delle caratteristiche dell'ammasso roccioso sono stati eseguiti 16 stendimenti geo-strutturali sulla parete da cui ha avuto origine il fenomeno di crollo; di questi 11 sono stati ubicati al piede della parete, sul ciglio e lungo cengie che la attraversano (fig 5). Per gli altri 5 si è ricorso a calate lungo la parete con l'ausilio di corde.

L'incrocio dei diversi stendimenti geostutturali ha permesso una raccolta dati significativa oltre che per il

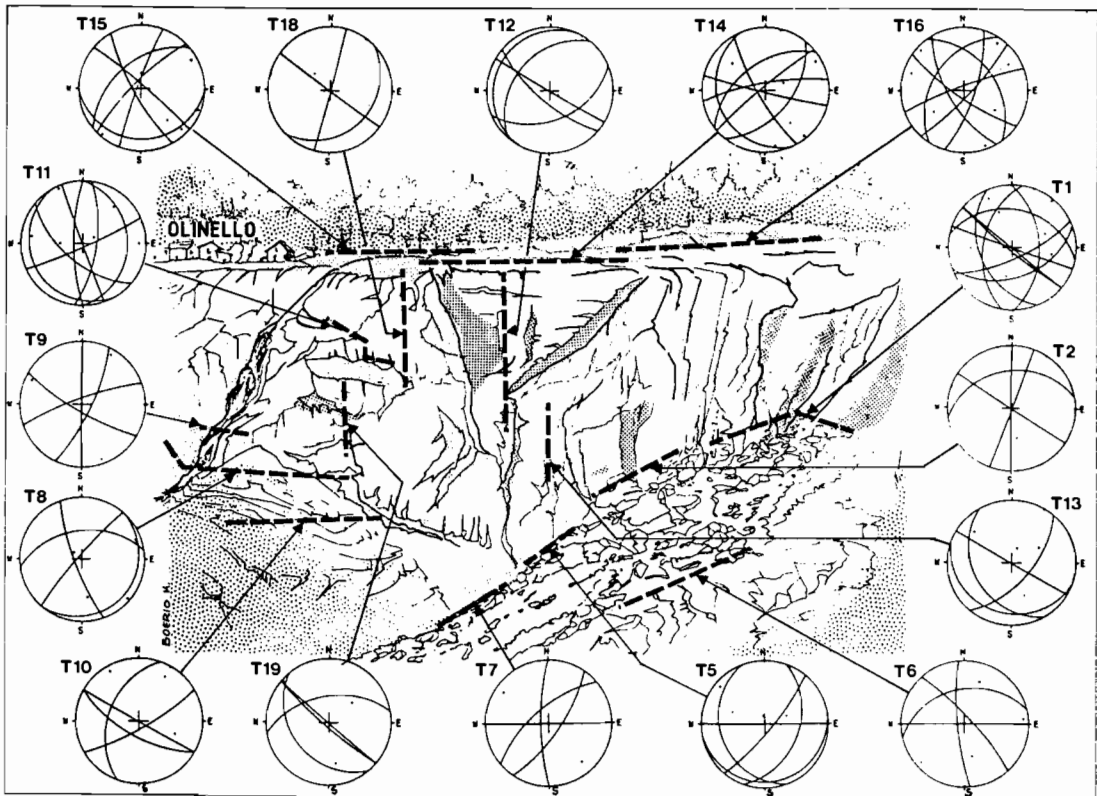


FIG.5- PROSPETTO FRONTALE DELLA ZONA DI DISTACCO DELLA FRANA DI CAREMA CON EVIDENZIATE LE TRAVERSE ESEGUITE ED I RELATIVI STEREOGRAMMI

numero (sono state rilevate piu' di 1000 discontinuita'), per la possibilita' di intersecare tutte le principali famiglie di giunti dell'ammasso.

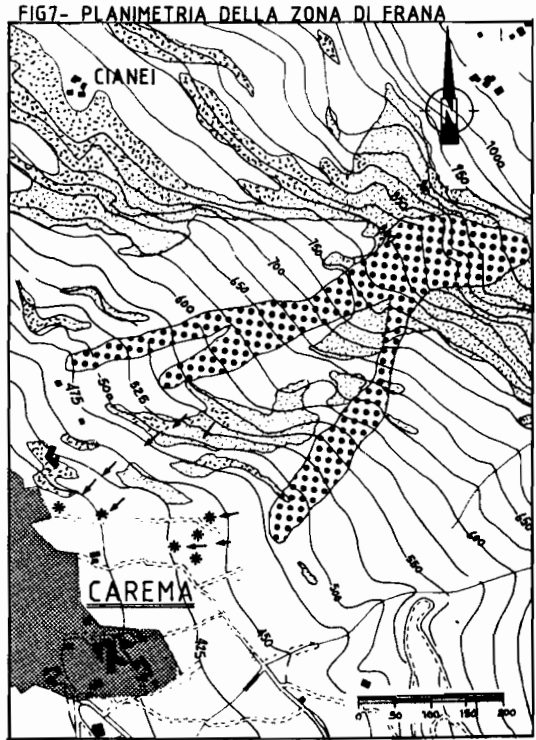
Utilizzando apposite schede di raccolta-dati (fig.6) messe a punto sul modello proposto in Pit Slope Manual (CANMET 1977), di ogni discontinuita' sono state definite immersione, inclinazione, spaziatura, persistenza, apertura eventuale presenza di acqua e di riempimenti, eccetera. Inoltre, analogamente a quanto eseguito nei rilievi in sotterraneo, sono state eseguite rilevazioni del JRC e JCS.

RILEV. GEOSTRUTTURALI									
INCLINE		ARREDA		POSIZIONE		DATA		TIPO	
Lavoro eseguito da:		Lavoro eseguito da:		Lavoro eseguito da:		Lavoro eseguito da:		Lavoro eseguito da:	
Immagine		Inclinazione		Immagine		Immagine		Immagine	
25 14 M		N 280		990		CAREMA			
RILEV. GEOSTRUTTURALI									
DISCONTINUITA'									
#	Immagine	Inclinazione	Immagine	Inclinazione	Immagine	Inclinazione	Immagine	Inclinazione	Inclinazione
1	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
2	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
3	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
4	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
5	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
6	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
7	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
8	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
9	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
10	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
11	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
12	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
13	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
14	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
15	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC
16	05N130E58	F	C	2	150AC	LEV	150AC	LEV	150AC

FIG.6- SCHEDE RACCOLTA DATI PER STENDIMENTI GEOSTRUTTURALI

I dati raccolti in campagna, sono stati analizzati statisticamente, tramite elaboratore utilizzando il programma PATCH (Mahtab et al 1972) riconoscendo, per ogni stendimento, i sets di discontinuita' predominanti (vedi fig.5 con gli stereogrammi delle 16 traverse).

Questo ha permesso di definire, mediante l'intersezione geometrica delle discontinuita', le dimensioni



Substrato Roccioso - Accumulo di frana
 Puntini di impatto massi - Massimo espandimento massi

medie delle porzioni rocciose che si possono isolare sulla parete, e l'eventuale tipo di cinematismo.

Parallelamente, nella zona di accumulo della frana, un'accurata indagine ha portato al censimento dei blocchi piu' significativi; di essi, in un'apposita scheda tipo, sono state definite le dimensioni, il grado di alterazione, quello di stabilita' e le condizioni del versante al contorno. Talvolta sono stati individuati sul terreno i punti di impatto dei massi franati e si e' tentata la ricostruzione parziale della loro traiettoria di discesa (fig.7)

E' stata parallelamente eseguita una simulazione di scendimento massi, tramite elaboratore, ritrovando una buona corrispondenza tra le traiettorie piu' probabili di caduta ed punti di impatto riconosciuti sul terreno.

A conclusione degli studi eseguiti i dati risultanti sono stati utilizzati per il corretto posizionamento degli interventi a protezione e a salvaguardia dell'abitato di Carema.

5 RILIEVO STRUTTURALE IN FORO PILOTA

Nel progetto di variante alla S.S. 145 "Sorrentina" nel comune di Castellammare di Stabia tra i km 11+600 e 14+000 e' stato previsto lo spostamento della strada pressoché totalmente in galleria.

Si e' ricorso all'esecuzione di un foro pilota, (fig.8) posizionato in sezione di calotta, che ha permesso tra l'altro l'acquisizione di tutti i dati necessari alla caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

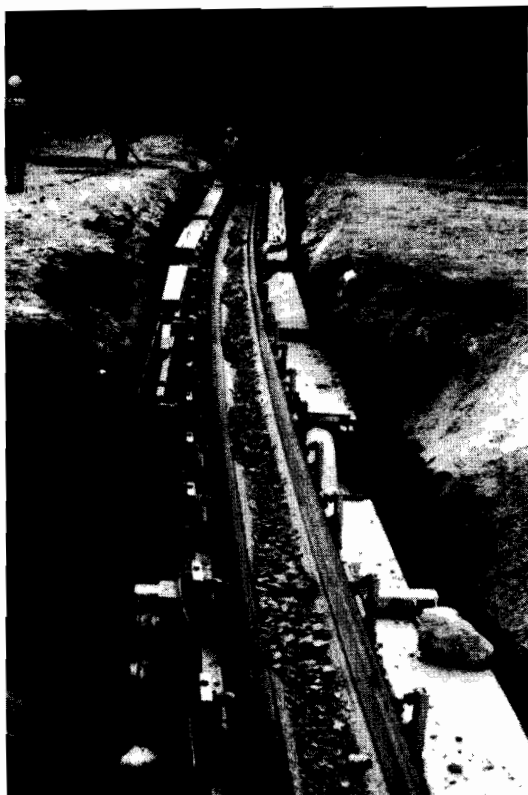


FIG.8- IL CUNICOLO PILOTA NEL TRATTO IN CUI, DATA LA LIMITATA COPERTURA, LA FRESA E' VENUTA A GIORNO

Dal punto di vista geologico l'opera attraversa terreni appartenenti ad un complesso calcareo di eta' cretaceo-miocenica, cui segue verso l'alto un complesso arenaceo che assume talora il carattere di un flysch arenaceo-marnoso.

Per il rilevamento geostrutturale nel cunicolo pilota e' stata messa a punto una scheda

nella quale, in particolare, si riporta l'identificazione litologica dell'ammasso roccioso e le misure di direzione ed immersione di tutte le discontinuita' presenti (stratificazione, giunti, faglie ecc.).

La mappatura degli elementi strutturali e' stata effettuata utilizzando il metodo della proiezione clinografica (fig.9).

L'identificazione della giacitura delle discontinuita' planari presenti ed intersecanti con differente orientazione il cunicolo pilota, e' spesso risultata impossibile attraverso l'utilizzo di bussola e clinometro: l'operazione di fresatura, infatti, non permette quasi mai il formarsi di piani sui quali eseguire le misure. Conseguentemente e' stato necessario ricorrere ad una metodologia indiretta che e' illustrata nel seguito.

La figura 9A mostra un segmento del cunicolo pilota a sezione circolare (diametro 3.6m), su cui sono riportate le tracce di piani (A e B) rappresentanti due generiche strutture planari presenti nell'ammasso roccioso ed intersecate dal cavo.

La figura 9B illustra le relazioni geometriche tra il piano B ed il cunicolo pilota mettendo in evidenza che, nel caso generale, l'intersezione e' rappresentata da un'ellisse.

In figura 9C e' riportata la proiezione clinografica della posizione di tunnel di fig. 9A; in essa sono riportate le tracce dei piani A e B, e gli elementi geometrici necessari per la determinazione della direzione di immersione e dell'inclinazione relative ai due piani: la linea che unisce l'intersezione tra il piano orizzontale e il piano B (a-b) rappresenta la direzione del piano B. L'inclinazione (i) viene calcolata tracciando la normale ad a-b passante per la linea centrale di calotta (CD).

La misura della distanza CD e' data dalla relazione:

$$i = \arctan(r/CD)$$

dove r rappresenta il raggio del cunicolo pilota.

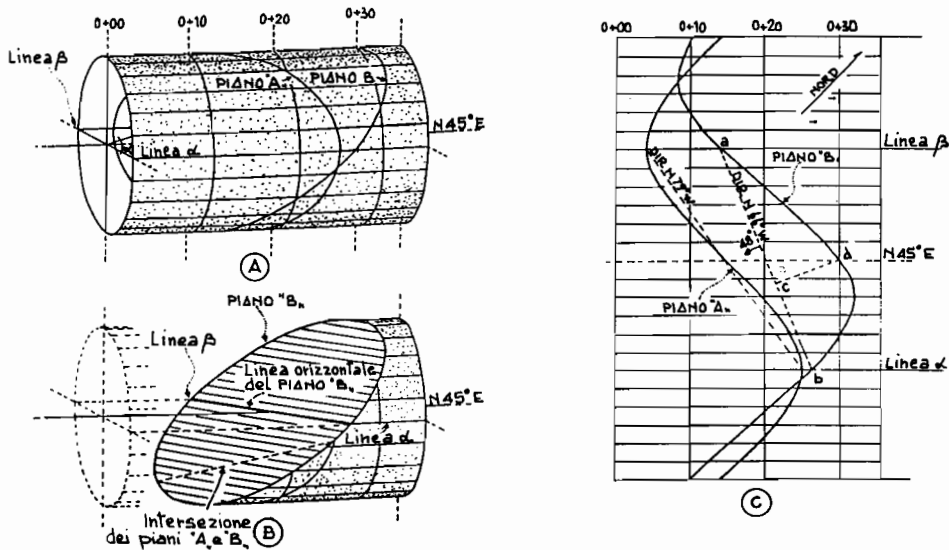


FIG.9- ESEMPIO DI PROIEZIONE CLINOGRAFICA (cfr testo)

Inoltre sono state effettuate sistematiche valutazioni della resistenza alla compressione monoassiale con l'uso dello sclerometro sia sulle pareti fresate del cunicolo pilota che (dove possibile) sulle superfici delle discontinuità strutturali. A completamento dell'indagine sono state rilevate e riportate nella scheda le condizioni idrologiche, la tipologia dei sostegni, gli eventuali fuori sagoma, i distacchi di calcestruzzo proiettato o la rottura di bulloni.

L'insieme dei dati ottenuti dall'esecuzione del cunicolo pilota (parametri di fresatura, sostegni adottati, analisi geo-strutturale, condizioni idrologiche ecc) ha infine portato al dimensionamento dei sostegni da adottarsi in galleria.

6 BIBLIOGRAFIA

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana "Geotechnical engineering in Italy, an overview". Roma, 1985, 415.

Aufmut R.E. "A systematic determination of engineering criteria for rock" Bull. of Ass. of Engineering Geologist, 11,3, 1973, 235-245.

Barla G., Forlati F., Scavia C., Vai L. "Classificazione

geomeccanica: valutazione dei parametri di progetto". Atti 1 Ciclo Conferenze Mecc. e Ing. delle Rocce, Torino, 1986, 10 1-5.

Barton N. "Review of a new shear strength criterion for rock joints" Eng. Geology, 7, 1973, 287-332.

Barton N., Choubey V. "The shear strength of rock joints in theory and practice" Rock Mech. 10, 1977, 1-54.

Bieniawski Z.T. "Rock mechanics design in mining and tunneling" Rotterdam, 1984.

Bieniawski Z.T. "Strata control in mineral engineering" Rotterdam, 1987.

Broili L. "Caratteristiche descrittive, qualitative e quantitative degli ammassi rocciosi, con particolare riguardo alle discontinuità naturali" Atti 2 Ciclo Conferenze Mecc. e Ing. delle Rocce, Torino, 3, 1988, 1-27.

Brook N. "The equivalent core diameter method of size and shape correction in Point Load Testing" Int. J. Rock Mech. Sci. and Geomech. Abstr. 22-2, 1985, 61-70.

CANMET "Pit slope manual", 2, 76-22, 1977, 123.

Clerici A., Griffini L., Pozzi R. "Procedura per l'esecuzione di rilievi strutturali geomeccanici di dettaglio su ammassi rocciosi a comportamento rigido" Geologia

Tecnica 3, 1988, 21-31.

Deer D.U., Miller R.P.
"Engineering classification and index properties for intact rock", Urbana, Illinois, 1966.

Grasso P., Morino A., Pelizza S.
"Studio per le possibili interferenze nella costruzione di gallerie stradali su una galleria canale", Quarry and Construction, 7, 1988, 16-20.

Haramy K.Y., DeMarco M.J. "Use of the Schmidt hammer for rock and coal testing" 26th US Symp. on Rock Mech., Rapid City, 1985, 549-555.

Hoek E., Bray J.W. "Rock slope engineering" Inst. of Mining and Metall., London, 1981.

ISRM International Society of Rock Mechanics "Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength of rock materials and the point-load strength index" Committee on laboratory Test, Doc. 1, 1972, 1-12.

ISRM International Society of Rock Mechanics "Suggested methods for determination shear-strength" Committee on laboratory Test, Doc. 1, 1972.

ISRM International Society of Rock Mechanics "Basic geotechnical description of rock masses" Int.J.Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. Vol.18, 1980.

ISRM International Society of Rock Mechanics "Rock characterization testing e monitoring. Suggested methods". London, 1981, 211.

Lunardi P. "Lo scavo delle gallerie mediante cunicolo pilota" Atti 1 Ciclo Conferenze Mecc. e Ing. delle Rocce, Torino, 1986, 47.

Mahtab M.A., Bolstad D.D., Allredge J.R., Shanley R.J.
"Analysis of fracture orientations for input to structural models of discontinuous rock" Bureau of Mines, IC 7669, 1972, 1-76.

Rossi P.P. "Le indagini sperimentali per la caratterizzazione degli ammassi rocciosi" Geologia Tecnica I-II-III parte, 1986, 2,3,4.

Tze R., Cruden D.M. "Estimating joint roughness coefficients" Int.J.Rock Mech. Min. Sci. and Geomech., Abstr. Vol 16, 1979, 303-307.

Yegulalp T.M., Mahtab M.A., Wane M.T., "Statistical procedure for

characterizing rock properties" Int. Symp. on Application of Rock Char. Tech. in Mining Design, New Orleans, 1986, 24-32.